

ESPERIENZE SOPRA UN CASO DI CORRENTI INDOTTE, *nel quale sarebbero nulle le forze elettro-dinamiche esercitate dal conduttore inducente sopra l'indotto qualora fosse percorso da una corrente.* — R. FELICI.

1°. Nel tomo primo di questo giornale, in una memoria ove esposi in che modo si deducono dalla sola esperienza, e col metodo seguito dall'Ampère nei fenomeni elettro-dinamici, le leggi generali delle correnti indotte, avvertii qual teoria dell'induzione da molti fisici è tuttora seguita: teoria ingegnosa ma pur sempre ipotetica, come si può vedere nel trattato di elettricità del Signor A. De la Rive. Secondo quest'ultima teoria la forza elettro-motrice indotta da una calamita sopra un elemento di conduttore dipenderebbe dalla forza elettro-dinamica che dalla calamita potrebbe essere esercitata sull'elemento stesso; e di modo che, qualora in virtù della forma del corpo inducente fosse nulla tal forza, nulla pure fosse la indotta forza elettro-motrice. A siffatta conseguenza non potendosi arrivare generalmente seguendo i soli dati di quella mia memoria, tolti dalla sola esperienza, desiderai di sperimentare un caso nel quale sono appunto nulle tali forze elettro-dinamiche, mentre si palesano fuor d'ogni dubbio, assai intense, le correnti di induzione. È quello il caso presentato dall'anello di Gay-Lussac e Welter, degno non solo di molta attenzione per il suo significato teorico, ma assai singolare per la forma semplice ed elegante che si può dare all'enunciato dei risultati generali che esso offre all'esperienza.

2°. L'anello di Gay-Lussac e Welter è, come ognuno sa, un anello, o toro di ferro dolce fasciato in spirale da un filo di rame coperto di seta destinato a magnetizzarlo. Avendo cura che i giri di quella spirale siano in ogni luogo dell'anello approssimativamente nel piano che passa per il centro e che è normale all'anello stesso, e, se l'anello non presenta ineguaglianza di tempera, facendo passare la corrente della pila nella spirale l'anello si magnetizza senza presen-

tare polarità alcuna; vale a dire nulla rimane la sua azione elettro-dinamica sopra l'ago calamitato. Ma è quasi impossibile di avere l'anello uniformemente temprato in tutti i suoi luoghi; vedremo però che una sua debole polarità non è di gran danno nelle esperienze. Nondimeno onde pormi nelle condizioni le migliori possibili di omogeneità in detta tempera, formai l'anello avvolgendo nella scanalatura di una ruota di legno un filo di ferro dolce di 0^m,002 di diametro; la ruota fu raccomandata al tornio onde avvolgere e bene stendere e serrare fra di loro i giri del filo. Finita tale operazione e tolto dalla ruota l'anello, quest'ultimo mi rimase di 0^m,080 di raggio interno e di 0^m,100 di esterno. Feci riscaldare fino all'incandescenza e lentissimamente raffreddare l'anello; il quale dipoi accuratamente fasciato in spirale da tre giri di filo di rame di 0^m,001 di grossezza, non mi presentava, magnetizzato che fosse da trenta pile alla Bunsen, alcuna sensibile polarità.

3°. Se colle formule che si rilevano dalla esperienza, e che già dimostrai, si analizza l'induzione esercitata da tale anello si ottengono i seguenti risultati.

(a) La somma delle forze elettro-motrici indotte sopra un circuito chiuso e filiforme, dalla calamitazione istantanea dell'anello, è nulla quando la superficie della quale il circuito può considerarsi come limite taglia l'anello stesso.

(b) Detta somma di forze elettro-motrici ha un valore finito ma indipendente dalla forma del circuito e dalla sua posizione, tutte le volte che la detta superficie non taglia l'anello.

È da riflettersi che mentre queste proposizioni sono esattamente confermate dall'esperienza, proposizioni che traggono seco loro altre importanti ed inevitabili conseguenze sulla legge dell'induzione confrontata con la legge nota di Ampère sulle azioni elettro-dinamiche, queste ultime azioni sono sempre nulle nel nostro caso; non già nulle solo perchè danno una risultante nulla per muovere il circuito indotto supposto rigido e percorso da una corrente, ma perchè sopra ogni elemento anche separatamente considerato (purchè non rimanga *nell'interno* della spirale, ossia in una sezione dell'anello) forza alcuna non sarebbe esercitata dalla calamita.

4°. Feci uso, come dissi più sopra, di trenta pile alla Bunsen e di un galvanometro di Ruhmkorff a poca resistenza, e dell'interruttore del Signor Wartmann, ossia dell'apparecchio destinato a dar passaggio nel galvanometro alle sole correnti al chiudere del circuito voltaico, del quale la spirale dell'anello faceva parte, escludendo le correnti indotte all'aprire, o viceversa.

Il mio anello non aveva polarità alcuna, vale a dire era uniformemente magnetizzabile attorno un suo diametro qualunque; ma ad ogni modo facilissimo era il premunirsi contro un errore risultante da una polarità ponendo il circuito indotto sempre di qualche centimetro lontano dall'anello, ed osservando se la direzione della corrente indotta, non che la sua intensità, variava facendo ruotare l'anello attorno l'asse centrale normale al suo piano. Finalmente avvertiremo che le correnti indotte usando una sola coppia di Bunsen erano di una intensità tale, da togliere ogni dubbio sopra una causa d'induzione risultante da una imperfezione dell'anello.

Oltre l'anello descritto ne feci comporre dal Sig. Wolf meccanico a Firenze, uno di 0^m,020 di raggio interno, e di 0^m,035 di raggio esterno, con quattro giri di filo di 0^m,001 di grossezza; ma sostituendo al ferro dolce un anello di legno. Simile anello poteva chiamarsi perfetto, e mi diede dei risultati simili a quelli dell'anello precedente, ottenendo con sei pile alla Bunsen correnti capaci di deviare di 90° l'ago del galvanometro.

5°. Cominciai col disporre il circuito del galvanometro in modo che la superficie limitata da esso non tagliasse l'anello, e vidi che non ottenevo mai correnti, nè al chiudere nè all'aprire del circuito voltaico.

Ciò fatto, feci passare un ramo del primo circuito entro l'anello inducente, in modo che quest'ultimo e l'anello formato dal detto circuito stavano come i due anelli prossimi di una catena. Avevo cura di tenere il circuito indotto più lontano che fosse possibile dalla superficie anulare. Chiudendo il circuito voltaico ottenevo sempre circa 80° gradi di

deviazione nel galvanometro. Appena mosso l'interruttore l'ago era spinto con violenza contro il suo punto di arresto, e perdeva della sua astaticità; il che non era di alcun danno ottenendosi correnti di tanta intensità.

Per verificare se la forma del circuito indotto o la sua posizione, nel secondo caso sperimentato, influiva sulla intensità della corrente indotta, feci passare entro l'anello, e come dianzi descrissi per un circuito solo, due circuiti da indursi; ma in modo che le loro correnti avessero ad opporsi nel galvanometro. Questi due circuiti erano di forme e posizioni diverse, e le loro correnti perfettamente si fecero equilibrio nel galvanometro.

Quest'ultimo caso di equilibrio è una conseguenza, semplice a dedursi, dell'essere nulla la somma delle forze elettro-motrici indotte tutte le volte che il circuito indotto non passa con un suo ramo entro l'anello, come ora vedremo.

6°. Trattiamo un caso particolare nella forma del circuito indotto abbastanza semplice per poter qui far di meno di un disegno geometrico, e il ragionamento che faremo sarà di sua natura applicabile a qualunque altra forma di circuito indotto.

Immaginiamo un piano che passi per il centro e sia normale al piano dell'anello. Prendendo per centro il punto di mezzo di una delle due sezioni fatte nell'anello dal piano, tracciamo in quest'ultimo tre cerchi concentrici; l'uno di un raggio qualunque, ma gli altri due quasi a contatto od uguali fra di loro, e di poco maggiori della sezione anzidetta. Ciò fatto avvolgiamo il filo del galvanometro alla intera periferia del circolo più grande, poi pieghiamo detto filo lungo il raggio del circolo sino ad incontrare il primo dei due cerchi minori; seguitiamo col filo, e nello stesso senso di prima lungo la intera periferia di quest'ultimo circolo, poi discendendo sino ad incontrare il terzo circolo, avvolgiamo il filo all'intera periferia di quest'ultimo, ma girando in verso contrario al verso secondo il quale si sono girate le due prime periferie; finalmente si risalga col filo il detto raggio, distruggendo così l'effetto di correnti indotte lungo il raggio stesso. Le due

parti del filo, coperto di seta, che restano per le comunicazioni col galvanometro, andranno avvolte assieme onde non avere a considerare altra induzione fuori di quella su quei tre circoli.

Il lettore che avrà la pazienza di tracciarsi il corso del filo su quei tre circoli, vedrà che non potrà al galvanometro risentirsi altra induzione fuori di quella esercitata sul circolo maggiore; perchè, evidentemente, le correnti indotte sugli altri due circoli di raggio uguale sono opposte ed uguali nell'intero circuito.

Ma si osservi che la parte del filo piegata sul circolo maggiore e sopra il primo dei due circoli minori forma da se sola ciò che si chiama un circuito chiuso. Ora tale ultimo circuito è limite di una superficie che non taglia l'anello, e perciò la somma delle forze elettro-motrici indotte sul maggiore e sopra uno dei minori circoli è nulla. Così la corrente che circola nel galvanometro, nell'atto della istantanea chiusura del circuito voltaico può essere considerata come uguale alla corrente indotta nel circolo maggiore, oppure in uno dei due circoli minori; e così rimane dimostrato che la somma delle forze elettro-motrici indotte sulla periferia di un circolo qualunque, è, nel nostro caso, indipendente dal raggio del circolo stesso. Tale dimostrazione si può, come ognuno vede, ripetere qualunque sia la forma e posizione del circuito indotto.

7°. Le precedenti esperienze ci dimostrano rigorosamente che la forza elettro-motrice indotta, in un elemento filiforme, dall'anello di Gay-Lussac e Welter non è mai nulla generalmente; e che se in dati casi non si ottiene corrente indotta, ciò è perchè le forze elettro-motrici indotte si elidono nel circuito del galvanometro. E così rimane pure rigorosamente dimostrato che può esservi induzione anche nel caso in cui son nulle le forze elettro-dinamiche, calcolabili colla formola di Ampère, sopra un elemento qualunque.

8°. Se ora supponiamo che l'anello rimanga permanentemente calamitato, e se si muove il circuito indotto da

una posizione ad un'altra è chiaro che la somma delle forze elettro-motrici indotte saranno nulle in ogni caso. Saranno nulle, perchè la somma delle forze elettro-motrici indotte in un circuito filiforme passando da una ad un'altra posizione è uguale alla differenza fra le due somme delle forze elettro-motrici inducibili nel circuito stesso supposto successivamente fermo nelle due dette posizioni; e tali somme sono sempre perfettamente uguali fra di loro, o nulle, nel nostro caso.

Ma qui è pure da rimarcarsi che stando alla sola esperienza non vi è ragione per supporre nulla la forza elettro-motrice indotta nel moto di un elemento del filo del galvanometro, avanti l'anello; perchè non è nulla la forza indotta nel caso della istantanea calamitazione dell'anello stesso; e perchè il solo fatto dell'essere indipendente la corrente indotta dalla forma e posizione del circuito indotto, verrebbe invece a farci supporre che tale forza variasse per l'elemento, passando da una ad un'altra posizione. Infatti se con due circoli di raggio diverso, e quindi di vario numero di elementi, si ottiene la stessa somma di forze elettro-motrici, perchè ciò non dovrà indicare una compensazione esatta tra il valore ed il numero delle forze, ossia degli elementi indotti? Se dunque generalmente vi è forza elettro-motrice indotta in un elemento qualunque per il suo passaggio da una ad un'altra posizione nello spazio, quando sono diverse le forze elettro-motrici indotte in lui (tenuto successivamente immobile in quelle due posizioni) dalla istantanea chiusura del circuito voltaico, anche nel caso nostro ciò dovrebbe aver luogo; perchè le leggi generali referibili agli elementi dei corpi in presenza non possono cangiare colla forma dei corpi stessi, e così la corrente indotta non può esser nulla per mancanza d'induzione elementare, ma perchè è nulla la somma algebrica totale delle forze elettro-motrici.

Si rifletta che per arrivare a quest'ultima conclusione non vi è bisogno di supporre che la forza elettro-motrice indotta in un elemento nel suo passaggio da una ad un'altra posizione sia precisamente uguale alla differenza delle forze in lui inducibili dalla istantanea chiusura del circuito voltaico, qualora l'elemento fosse successivamente tenuto immo-

bile in quelle due posizioni; basta solo ammettere, ciò che d'altronde è provato implicitamente dall'esperienza, che quando quella differenza non è nulla, vi è corrente indotta nel moto dell'elemento. E quello è il nostro caso.

Ma, ad ogni modo, sarà dimostrato coll'esperienza che *vi può esser induzione senza azione elettro-dinamica, calcolabile dalla formula d'Ampère.*

9°. Le formule da noi dimostrate, nel modo che dicemmo, coincidono talvolta con quelle del Sig. Neumann, e perciò si potrebbe credere che i fatti qui accennati fossero compresi teoricamente nella ipotesi di quel distinto geometra. Ma, a tutto rigore, tale coincidenza non potrebbe citarsi; perchè in quella ipotesi nulla è la forza elettro-motrice indotta quando nulla è la velocità dei circuiti.

Per estendere la teoria del Sig. Neumann al caso dell'induzione al chiudere od all'aprire del circuito inducente, può esser consigliato di combinare quella ipotesi col fatto qui sopra citato nella pagina 326 paragrafo 8°; vale a dire, nel nostro caso dell'anello, bisognerebbe prendere la somma delle forze elettro-motrici che sarebbero indotte nel circuito; mentre quest'ultimo partendo da una distanza infinita venisse rapidamente a collocarsi in quella data posizione considerata; nella quale posizione in realtà egli rimane immobile ma vi riceve l'azione della istantanea calamitazione dell'anello. Così il caso discusso sarebbe ricondotto al caso delle correnti indotte durante un moto relativo dei circuiti. Ma immaginiamo di eseguire tal somma considerando il moto degli elementi del circuito indotto sotto due punti di vista.

(a) Si potrebbe calcolare a parte la forza elettro-motrice indotta in ogni elemento considerato percorrere una traiettoria qualunque indipendente dal rimanente del circuito, come se non vi fosse invariabilmente unito, ma purchè venisse a collocarsi alla fine del suo moto in quella posizione che gli appartiene realmente nel circuito nell'atto del fenomeno, cioè nella istantanea calamitazione dell'anello.

(b) Si potrebbe calcolare la stessa forza nello stesso mo-

do, ma assoggettando il moto che ipoteticamente, per l'artificio suddetto, ha luogo per tutto il circuito, alla condizione che i diversi elementi fossero invariabilmente uniti fra di loro, l'uno all'altro elemento contiguo.

Nel primo modo, (*a*) di calcolare si avrebbe *zero* forza indotta seguendo l'ipotesi del Neumann; nel secondo caso, (*b*) si avrebbe *zero* per tutti gli elementi, eccetto che per l'elemento che incontrerebbe la selenoide che rappresenta l'anello; incontro che dovrebbe aver luogo, essendochè il circuito non potrebbe mai interrompersi, e avrebbe a collocarsi in modo che la superficie da esso limitata tagliasse la selenoide stessa. E benchè limitata l'induzione ad un solo elemento, pure in questo caso singolare, in cui in un dato istante la distanza fra l'elemento e la selenoide diverrebbe nulla, non so, ma potrebbe forse in calcolo risultare un valore finito concorde alla esperienza.

Ma perchè si deve seguire il modo (*b*), piuttosto che (*a*) di calcolare? È necessaria, è vero, la continuità degli elementi perchè la corrente possa circolare, ma non già perchè negli elementi stessi sia indotta una forza elettro-motrice; e l'introdurre in calcolo tale condizione di continuità sarebbe un alterare l'ipotesi del Neumann, senza essere maggiormente appoggiati dall'esperienza; mentre l'attaccarci a quel caso singolare, dell'incontro di un elemento indotto colla selenoide inducente, per spiegare il fenomeno, ci parrebbe cosa non molto atta ad ispirare fiducia in una teoria; tanto più che tale incontro non avrebbe realmente luogo, ma che sarebbe immaginato espressamente per dare qualche significato fisico a delle operazioni di calcolo; le quali teoricamente, secondo i dati fondamentali della teoria del Neumann, non ne avrebbero alcuno.

10°. Credo che il Sig. Neumann abbia reso un gran servizio ai Fisici facendo osservare, e calcolando, una relazione fra la teoria dell'Ampère e quella dell'induzione; ma credo nel tempo stesso che mentre la teoria di quel geometra è d'accordo colla esperienza in una classe di fatti molto generale, così non lo sia per il rimanente delle nostre co-

gnizioni sperimentali nella induzione, qualora si faccia uso dell'ipotesi del Sig. Neumann come si deve, vale a dire senza implicarvi alcun principio estraneo a seconda dei casi che si vogliano trattare, e a tutto rischio di essere tacitamente in contraddizione colla ipotesi stessa o con la esperienza. Di ciò più utile sarebbe il ponderare il bel lavoro analitico del Signor Neumann, e le formule direttamente date dall'esperienza, per modificare quella ipotesi in guisa da poterla estendere a tutti i casi. Ma lo studio della induzione è abbastanza avanzato, perchè ormai ogni discussione teoretica delle sue leggi sia inutile ed illusoria senza la scorta del calcolo.

*Memoria del Cav. ERNESTO CAPOCCI, INTORNO ALLA CAIONE
DEL FENOMENO DEL TREMOLIO DELL'ARIA IN TALUNI PUNTI
DELLA SUPERFICIE TERRESTRE; letta nel Reale Istituto di
Napoli li 19 Aprile 1855.*

Spesso avviene di vedere ne' campi aperti, ovvero ne' larghi spazi rinchiusi nelle città, un tremolio nell'aria a più o men breve altezza dal suolo, più o men vivace ed esteso, che al muoverci pur esso cangia di luogo, ora acquistando una grande estensione, ora riducendosi ad una aiuola ristretta, ora sparendo affatto. Questo curioso fenomeno talvolta assume una mirabile intensità, e colpisce l'osservatore più indifferente, sollecitandolo a cercarne la spiegazione. Ciò pure avvenne a me, or sono scorsi ben oltre a venti anni, sulle pendici della Meta e del Greco di Chiarano in Abruzzo, accompagnando su per que' monti in un viaggio scientifico i miei illustri colleghi Tenore e Gussone. Tosto allora ne venne in mente dover esser quello un gioco di *rifrazioni*. Ma questa generica idea era ben lungi dal preciso *modus operandi*, d'una categorica spiegazione: perchè, ove non entrano le refrazioni in fatto di fenomeni ottici? Difatto molte altre osservazioni, e l'intervento di un altro principio occorreano per giungere al nostro intento (1).

(1) Simili apparenze, ma assai più tumultuose ed energiche, si veg-